不同水平有机微量元素对蛋鸡矿物元素沉积与排泄的影响[1]

何万领[1] 李晓丽[1] 李 旺[1] 丁 轲[1] 李元晓[1] 任振东[2]

（1.河南科技大学动物科技学院，洛阳 471003；2.河南艾格多科技有限公司，郑州 47000）

摘 要：本试验旨在研究不同水平有机微量元素对蛋鸡矿物元素沉积和排泄的影响。试验选取 240 只 25 周龄的海兰褐蛋鸡，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。对照组饲粮按照 NRC（1994）推荐量添加无机微量元素（inorganic trace element,ITE），试验 1、2 和 3 组饲粮分别按照 NRC(1994)推荐量的 60%、80%和 100%添加有机微量元素（organic trace element，OTE）。试验期 49 d。结果表明：1）与对照组相比，试验 1 组血液铜和锌含量及试验 2、3 组血液铜、锌、锰和胰脏锌含量均显著升高（P<0.05）。2）与对照组相比，各试验组鸡蛋锌、锰和铁含量均显著增加（P<0.05）。3）与对照组相比，试验 1 和 2 组粪便铜含量及试验 1 组粪便锌、锰含量极显著降低（P<0.01）；试验 2 组粪便锰和试验 3 组粪便铜含量显著降低（P<0.05）；各试验组血液、肝脏、胰脏、胫骨和鸡蛋钙、磷含量无显著变化（P>0.05）。由此可见，有机微量元素能够促进铁、铜、锌、锰在蛋鸡体内和鸡蛋中的沉积，降低相应元素的排泄，并以 NRC（1994）推荐量的 60%添加效果最好。

关键词：微量元素；蛋鸡；沉积；排泄

中图分类号：S831.5 文献标识码：A 文章编号：

长期以来，由于无机微量元素（inorganic trace element，ITE）成本低、容易获得而在畜牧养殖中广泛应用，但无机微量元素易被植酸等抗营养因子结合而降低其生物学有效性[1-3]，致使畜牧生产中微量元素超量添加。微量元素超量添加不仅给动物带来应激和健康问题，其所造成的环境污染问题也逐渐凸显，尤其是铜、锌等微量元素污染较为严重[4-6]。研究认为，一些有机配位体能够保护金属离子在消化道内不受植酸等抗营养因子的干扰[7-8]，为此，有机酸态、乙二胺四乙酸(EDTA)络合态和氨基酸螯合态等形式的有机微量元素（organic

收稿日期：2017-06-29
基金项目：河南科技大学青年科学基金项目（2015QN039）；国家自然科学基金项目（U150410380）；河南科技大学创新培育基金项目（4025-13480066）；河南艾格多科技有限公司重点攻关项目（2016ZD0013）
作者简介：何万领（1976-），男，河南商丘人，副教授，博士，研究方向为蛋鸡营养、微量元素与环境效应。E-mail: hwling921@126.com

trace element，OTE）被研制开发，但由于受技术方法和生产工艺等的影响，一些市售有机微量元素使用效果并不理想[9-10]。微生物种类繁多，繁殖能力强，且与动物等生物体一样能够利用无机态微量元素并将其转化为有机态形式[11]。因此，筛选对微量元素具有较强耐受能力、富集及合成能力的有益态微生物，并用以生产有机微量元素成为国内外动物营养学的研究热点之一。本试验将由乳酸菌、酵母菌和枯草芽孢杆菌发酵制备的复合有机微量元素按照 NRC（1994）推荐量的 60%、80%和 100%添加到蛋鸡饲粮中，通过分析蛋鸡血液、肝脏、胰脏、胫骨、鸡蛋和粪便中微量元素含量，旨在研究不同水平有机微量元素对蛋鸡微量元素沉积和排泄的影响，为有机微量元素在蛋鸡养殖中的合理利用提供试验依据。

1. 材料与方法

1.1 试验材料

试验用无机微量元素与有机微量元素均由河南艾格多科技有限公司提供，其所含微量元素种类与规格见表 1。铁、铜、锌、锰标准溶液由国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院提供。

表 1　无机微量元素和有机微量元素中微量元素种类与规格

Table 1　Kinds and specifications of trace elements in ITE and OTE

微量元素 Trace elements	无机微量元素 ITE			有机微量元素 OTE		
	种类 Kind	规格 Specification/(g/kg)	游离态元素比例 Free elements ratio/%	种类 Kind	规格 Specification/(g/kg)	游离态元素比例 Free elements ratio/%
铁 Fe	一水硫酸亚铁	300	100.0	乳酸菌铁	39.9	22.74
铜 Cu	五水硫酸铜	250	99.8	酵母铜	15.2	18.29
锌 Zn	一水硫酸锌	350	99.5	枯草芽孢杆菌锌	51.8	16.27
锰 Mn	一水硫酸锰	318	98.5	酵母锰	25.7	23.91

游离态元素比例为实测值，指某种微量元素溶解于超纯水中的元素质量占总质量的百分比。Free elements ratio was measured value, which meant the percentage of elemental mass dissolved in ultrapure water in total mass of the elements.

1.2 试验动物与基础饲粮

试验动物选用 240 只 25 周龄、体重相近的海兰褐蛋鸡。试验用基础饲粮以玉米、豆粕为主要原料，不添加微量元素，并参照 NRC（1994）蛋鸡营养需要确定营养水平，基础饲粮组成及营养水平见表 2。

表 2 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of the basal diet （air-dry basis） %

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2)]	含量 Content
玉米 Corn	63.5	粗蛋白质 CP	16.02
豆粕 Soybean meal	23.0	代谢能 ME/(MJ/kg)	11.16
油脂 Oil	0.5	钙 Ca	3.54
石粉 Limestone	8.0	有效磷 AP	0.43
预混料 Premix[1)]	5.0	赖氨酸 Lys	0.78
合计 Total	100.0	蛋氨酸 Met	0.39
		蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.67

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 7 500 IU，VD_3 2 500 IU，VE 35 mg，VK_3 1 mg，VB_1 1.5 mg，VB_2 4 mg，VB_6 2 mg，VB_{12} 0.02 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，泛酸 pantothenate 10 mg，生物素 biotin 0.16 mg，氯化胆碱 choline chloride 420 mg。

[2)] 粗蛋白质为实测值，其他营养水平为计算值。CP was a measured value, while the others were calculated values.

1.3 试验设计与饲养管理

将 240 只 25 周龄的海兰褐蛋鸡随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。对照组蛋鸡饲喂在基础饲粮中按照 NRC（1994）推荐量添加无机微量元素的饲粮，试验 1、2 和 3 组蛋鸡分别饲喂在基础饲粮中按照 NRC(1994)推荐量的 60%、80%和 100%添加有机微量元素的饲粮，各组饲粮中微量元素添加量与含量见表 3。饲养试验在河南科技大学周山校区试验牧场进行，试验蛋鸡自由采食、乳头式饮水器自由饮水，自然通风，每天光照时间 16 h，根据蛋鸡饲养要求，定期进行卫生管理和防疫。试验期 49 d。

表 3 微量元素添加量与含量

Table 3 Additive amount and content of trace elements mg/kg

组别 Groups	添加量 Additive amount				含量（实测值） Content （measured value）			
	铁 Fe	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn	铁 Fe	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn

对照组 Control group	58.0	5	42.0	30	265.16	17.22	70.63	58.76
试验 1 组 Trial group 1	34.8	3	25.2	18	239.75	15.45	54.26	44.61
试验 2 组 Trial group 2	46.4	4	33.6	24	254.17	16.31	63.33	50.77
试验 3 组 Trial group 3	58.0	5	42.0	30	262.51	17.61	71.34	57.58

1.4 样品采集与检测

1.4.1 样品采集

采用四分法采取各组饲粮各 200 g，用粉碎机粉碎过 60 目筛，置于封口袋中阴凉干燥处密封保存，待测。

采用全收粪法连续收集每个重复 2 只鸡（每组共 12 只鸡）7 d 的粪便，称量鸡粪鲜重，于 70 ℃恒温烘箱内将各组收集的粪便烘至恒重，采用四分法从烘干的粪便中取样 50 g，研磨磨碎，过 60 目筛，置于封口袋中，于干燥处保存，待测。

每个重复随机取 2 枚鸡蛋（每组共 12 枚鸡蛋），煮熟后除去蛋壳，留蛋清和蛋黄。

于试验结束前 1 天，各组鸡禁止采食，并于第 2 天每个重复随机取 1 只鸡（每组共 6 只鸡），翅静脉处采集血液；随后断颈放血，解剖，收集肝脏、胰脏和胫骨。

1.4.2 样品处理与检测

采用薛颖等[12]报道的方法对饲粮和粪便样品进行湿法消化；用张娟等[13]报道的方法提取血液中微量元素铁、铜、锌、锰；用 Yokoi 等[14]报道的方法对肝脏、胰脏和鸡蛋样品进行湿法消化；采用 Angel[15]报道的方法对胫骨进行干灰化。消化后的样品用电感耦合等离子体质谱仪（ICP-MS，Agilent7500a，美国）测定其中铁、铜、锌、锰含量，参照 GB/T 6436—2002 中方法测定其中钙含量，参照 GB/T6437—1992 中方法测定其中磷含量。

1.5 数据处理与分析

使用 Excel 2007 软件对原始数据进行处理，试验结果用“平均值±标准差”表示；利用 SPSS 20.0 软件的 ANOVA 模块进行单因素方差分析，用 LSD 模块进行差异显著性检验。

2 结 果

2.1 不同水平有机微量元素对蛋鸡血液矿物元素含量的影响

由表 4 可知，与对照组相比，试验 1 组蛋鸡血液铜和锌含量极显著升高（*P*<0.01）、锰含量显著升高（*P*<0.05），试验 2 组蛋鸡血液铜、锌、锰含量极显著升高（*P*<0.01），试验 3 组蛋鸡血液锰含量极显著升高（*P*<0.01）、铜和锌含量显著升高（*P*<0.05）；3 个试验组血液铁、钙、磷含量均不同程度升高，但差异不显著（*P*>0.05），且各试验组间无显著差异（*P*>0.05）。

表 4　不同水平有机微量元素对蛋鸡血液矿物元素含量的影响

Table 4　Effects of different levels of OTE on blood mineral element contents of laying hens　（*n*=6）　mg/L

组别 Groups	钙 Ca	磷 P	铁 Fe	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn
对照组 Control group	8.14±0.33	33.17±1.24	8.77±0.46	1.93 ± 0.08^{Bb}	6.23 ± 0.09^{Bb}	0.44 ± 0.11^{Bb}
试验 1 组 Trial group 1	9.24±1.02	37.51±4.96	9.02±1.40	2.18 ± 0.23^{Aa}	6.82 ± 0.23^{Aa}	0.54 ± 0.07^{ABa}
试验 2 组 Trial group 2	8.24±0.63	40.30±4.34	9.55±0.66	2.25 ± 0.22^{Aa}	7.01 ± 0.20^{Aa}	0.56 ± 0.06^{Aa}
试验 3 组 Trial group 3	8.68±0.67	40.61±9.92	9.82±0.27	2.15 ± 0.17^{ABa}	6.62 ± 0.16^{ABa}	0.59 ± 0.05^{Aa}
P 值 *P*-value	0.075	0.268	0.095	0.001	0.003	0.015

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01）。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with different captial letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

2.2 不同水平有机微量元素对蛋鸡肝脏、胰脏、胫骨中矿物元素沉积的影响

由表 5 可知，与对照组相比，各试验组肝脏铁、铜、锌和锰含量均不同程度升高，但差异不显著（*P*>0.05），以试验 2 组肝脏铁和铜含量、试验 3 组肝脏锌和锰含量最高。各组肝脏钙和磷含量无显著差异（*P*>0.05）。

由表 6 可知，与对照组相比，试验 2 和 3 组胰脏锌含量显著升高（*P*<0.05）；试验 1、2 和 3 组胰脏铁、铜和锰含量均不同程度升高，但差异不显著（*P*>0.05），且各试验组间无显著差异（*P*>0.05）。各组胰脏钙、

磷含量无显著差异（P>0.05）。

由表 7 可知，与对照组相比，试验 1、2 和 3 组胫骨铁、铜、锌、锰含量均不同程度升高，但差异不显著（P>0.05）。各组胫骨钙、磷含量无显著差异（P>0.05）。

表 5　不同水平有机微量元素对蛋鸡肝脏中矿物元素沉积的影响

Table 5　Effects of different levels of OTE on mineral elements deposition in liver of laying hens　（n=6）

组别 Groups	钙 Ca/%	磷 P/%	铁 Fe/(mg/kg)	铜 Cu/(mg/kg)	锌 Zn/(mg/kg)	锰 Mn/(mg/kg)
对照组 Control group	0.78±0.13	0.66±0.07	137.83±4.80	4.62±0.29	22.3±1.97	1.33±0.10
试验 1 组 Trial group 1	0.82±0.16	0.73±0.15	140.23±7.88	4.66±0.23	24.16±2.19	1.52±0.22
试验 2 组 Trial group 2	0.80±0.11	0.68±0.12	145.77±4.20	4.87±0.22	24.73±1.90	1.46±0.17
试验 3 组 Trial group 3	0.76±0.13	0.72±0.09	142.27±5.18	4.77±0.25	25.09±1.48	1.55±0.16
P 值 P-value	0.898	0.586	0.283	0.631	0.347	0.451

表 6　不同水平有机微量元素对蛋鸡胰脏中矿物元素沉积的影响

Table 6　Effects of different levels of OTE on mineral elements deposition in pancreas of laying hens　（n=6）

组别 Groups	钙 Ca/%	磷 P/%	铁 Fe/(mg/kg)	铜 Cu/(mg/kg)	锌 Zn/(mg/kg)	锰 Mn/(mg/kg)
对照组 Control Group	0.62±0.05	0.55±0.10	25.59±1.12	1.51±0.07	25.46±2.18^{b}	1.26±0.22
试验 1 组 Trial group 1	0.63±0.04	0.58±0.12	26.27±0.96	1.55±0.13	27.28±1.45^{ab}	1.28±0.17
试验 2 组 Trial group 2	0.58±0.03	0.61±0.08	26.75±1.50	1.73±0.11	31.70±2.99^{a}	1.41±0.24
试验 3 组 Trial group 3	0.67±0.07	0.55±0.09	26.83±1.54	1.68±0.20	30.81±2.19^{a}	1.48±0.21
P 值 P-value	0.263	0.669	0.651	0.229	0.033	0.379

表 7　不同水平有机微量元素对蛋鸡胫骨中矿物元素沉积的影响

Table 7　Effects of different levels of OTE on mineral elements deposition in tibia of laying hens　（n=6）

组别 Groups	钙 Ca/%	磷 P/%	铁 Fe/(mg/kg)	铜 Cu/(mg/kg)	锌 Zn/(mg/kg)	锰 Mn/(mg/kg)

对照组 Control group	19.32±2.26	8.83±0.37	25.36±1.15	4.42±0.52	179.17±12.41	5.19±0.42
试验 1 组 Trial group 1	20.16±1.28	9.01±0.63	26.22±1.06	4.75±0.95	188.58±10.42	5.41±0.44
试验 2 组 Trial group 2	19.17±1.53	8.47±0.25	26.75±2.11	4.88±0.62	193.43±13.08	5.83±0.61
试验 3 组 Trial group 3	20.67±2.11	9.15±0.44	26.83±1.57	4.81±0.49	182.74±8.49	5.69±0.55
P 值 *P*-value	0.704	0.392	0.510	0.478	0.471	0.465

2.3 不同水平有机微量元素对蛋鸡鸡蛋中矿物元素沉积的影响

由表 8 可知，与对照组相比，试验 1 组鸡蛋锌含量极显著增加（$P<0.01$）、铁含量显著增加（$P<0.05$）；试验 2 组鸡蛋铁和锌含量极显著增加（$P<0.01$）、锰含量显著增加（$P<0.05$）；试验 3 组鸡蛋铁和锌含量极显著增加（$P<0.01$）；各试验组鸡蛋铜含量均有不同程度升高，但差异不显著（$P>0.05$）。各组鸡蛋钙和磷含量无显著差异（$P>0.05$）。

表 8　不同水平有机微量元素对鸡蛋中矿物元素沉积的影响

Table 8　Effects of different levels of OTE on mineral elements deposition in egg of laying hens　（*n*=6）

组别 Groups	钙 Ca/%	磷 P/%	铁 Fe/(mg/kg)	铜 Cu/(mg/kg)	锌 Zn/(mg/kg)	锰 Mn/(mg/kg)
对照组 Control group	3.04±0.23	0.21±0.03	$55.16±1.27^{Bb}$	16.57±2.55	$12.45±1.4^{Bb}$	$0.11±0.02^{b}$
试验 1 组 Trial group 1	3.12±0.31	0.22±0.02	$60.85±2.21^{ABa}$	19.33±4.56	$23.53±3.06^{Aa}$	$0.14±0.02^{ab}$
试验 2 组 Trial group 2	3.09±0.32	0.22±0.01	$63.42±2.17^{Aa}$	22.42±4.01	$22.49±3.25^{Aa}$	$0.17±0.01^{a}$
试验 3 组 Trial group 3	2.92±0.22	0.21±0.02	$62.27±3.25^{Aa}$	22.98±3.18	$24.04±2.96^{Aa}$	$0.13±0.04^{ab}$
P 值 *P*-value	0.805	0.923	0.011	0.184	0.02	0.0381

2.4 不同水平有机微量元素对蛋鸡矿物元素排泄的影响

由表 9 可知，与对照组相比，试验 1、2 和 3 组蛋鸡粪便中铁、铜、锌、锰含量均不同程度下降，其中试验 1 组铜、锌、锰含量和试验 2 组铜含量极显著降低（$P<0.01$），试验 2 组锌、锰含量和试验 3 组铜含量显著降低（$P<0.05$）；各试验组蛋鸡粪便中钙和磷含量与对照组相比无显著差异（$P>0.05$）。

表 9　不同水平有机微量元素对蛋鸡矿物元素排泄的影响（干物质基础）

Table 9 Effects of different levels of OTE on mineral elements excretion of laying hens (DM basis, *n*=6）

组别 Groups	钙 Ca/%	磷 P/%	铁 Fe/(mg/kg)	铜 Cu/(mg/kg)	锌 Zn/(mg/kg)	锰 Mn/(mg/kg)
对照组 Control group	9.80±0.44	17.96±2.98	2 095.88±102.54	22.53±2.76^{Aa}	105.11±8.56^{Aa}	89.24±2.86^{Aa}
试验 1 组 Trial group 1	8.90±0.14	18.19±0.75	1 938.91±67.23	13.94±3.01^{Bb}	69.54±3.85^{Bc}	72.43±3.22^{Bc}
试验 2 组 Trial group 2	9.30±0.32	18.14±0.43	1 932.74±79.82	14.27±2.22^{Bb}	80.62±4.02^{ABbc}	81.46±4.39^{ABbc}
试验 3 组 Trial group 3	8.90±1.86	17.99±1.67	1 886.13±94.72	14.64±3.46^{ABb}	100.80±6.27^{ABab}	85.23±3.84^{ABab}
P 值 *P*-value	0.626	0.997	0.138	0.019	0.023	0.029

3 讨 论

3.1 不同水平有机微量元素对蛋鸡血液、肝脏、肾脏、胫骨中矿物元素沉积的影响

动物血液、肝脏、胰脏、胫骨等组织器官中微量元素含量常被作为评价饲粮中微量元素生物学效率的主要指标。血液中的微量元素主要来源于细胞凋亡、组织间转运及消化道吸收等，正常情况下，动物血液中微量元素含量保持相对稳定[16]。因此，血液中微量元素含量变化常常与机体生理机能异常或消化道摄入微量元素盈缺有关。李才淑等[17]总结大量文献后表明，血清中微量元素含量变化与 258 种疾病存在显著相关。由于动物从消化道上皮细胞吸收的矿物元素主要通过血液运输，因此，血液中游离态矿物元素含量常被作为敏感性指标来评价饲粮矿物元素的吸收率[18]。谭会泽等[19]研究有机微量元素对经产母猪血清微量元素含量的影响，结果表明，有机微量元素较无机微量元素显著提高了配种前期母猪血清中铜、铁和锌含量。本试验发现，与无机微量元素相比，微生物合成的有机微量元素提高了蛋鸡血清钙、磷、铁、铜、锌和锰的含量，其中 60%水平组血清锌，80%水平组血清铜、锌、锰及 100%水平组血清锰含量均显著高于对照组。这表明，微生物合成的有机微量元素的吸收率好于无机微量元素。

肝脏是微量元素主要的代谢和积累场所，对饲粮铁、铜、锌、锰具有较高的敏感性，吸收入血的微量元素大部分先进入肝脏[20]。胰脏是微量元素锰、锌的主要代谢器官，对饲粮锰、锌也有较高的敏感性，经消化道吸收的锰、锌在胰脏中大量沉积[21-22]。骨骼是钙、磷、锰、锌沉积的场所，尤其是胫骨中矿物元素含量的

变化能很好地反映动物体矿物元素的代谢状况[23]。与血液指标的敏感性相比，肝脏、胰脏和胫骨等组织器官中矿物元素含量常被用来反映机体一定时期的生理变化和饲粮矿物元素生物学效率。王淑明等[22]研究表明，与无机锌相比，有机锌能显著增加锌在水貂肝脏的沉积。Ao 等[24]研究证实，有机锌可促进肉鸡胫骨中锌的沉积。Skivan 等[25]在低于欧盟标准 35 mg/kg 添加铜时，随着添加量的增加，肝脏铜含量显著增加。Henry 等[26]研究发现，与无机硫酸锰相比，蛋氨酸锰可提高羔羊骨骼和肝脏中锰含量。孙秋娟等[27]研究表明，用有机铜、锰、锌等量替代相应元素的无机硫酸盐可显著促进蛋鸡肝脏和胰脏铜、锌的沉积。本试验结果表明，与无机微量元素相比，微生物合成的有机微量元素能够促进铁、铜、锌、锰在蛋鸡肝脏、胰脏和胫骨中的沉积，其中 80%和 100%水平组胰脏锌含量显著高于对照组，而有机微量元素对蛋鸡肝脏、胰脏和胫骨中钙、磷含量无显著影响。

3.2 不同水平有机微量元素对蛋鸡鸡蛋矿物元素沉积的影响

鸡蛋是蛋鸡的重要畜产品和遗传资源，适当增加鸡蛋中矿物元素含量能提高蛋品质、种蛋受精率及对人体微量元素的供应[16,28]。当饲粮中某些矿物元素含量增加或生物学效率高时，鸡蛋中相应矿物元素含量会得到不同程度增加。Mabe 等[29]研究发现，在蛋鸡饲粮中分别添加 60、60、10 mg/kg 的无机锌、锰、铜，可显著提高蛋黄中相应微量元素的含量。一些有关有机微量元素的研究也证明，添加有机态铁、铜、锌、锰、硒能显著提高鸡蛋中相应微量元素的含量[27,30-31]。薛颖等[12]研究则发现，当在饲粮中按照 NRC（1994）推荐量的 25%~125%添加无机微量元素和有机微量元素时，随着添加量的增加，无机微量元素和有机微量元素均不会显著促进鸡蛋中锰、铜、锌的沉积。本研究结果表明，与无机微量元素相比，有机微量元素促进了铁、铜、锌、锰在蛋鸡鸡蛋中的沉积，其中 60%水平组鸡蛋铁和锌，80%水平组鸡蛋铁、锌、锰及 100%水平组鸡蛋铁、锌含量呈显著或极显著增加。这表明，有机微量元素能够促进微量元素在鸡蛋中的有效沉积，尤其对铁、锌、锰的促进沉积效果较好，但对钙、磷的沉积无显著影响。

3.3 不同水平有机微量元素对蛋鸡矿物元素排泄的影响

动物生产过程中的排泄物是造成环境污染的重要因素之一，其中矿物元素尤其是微量元素大量排泄是环境污染的主要来源。微量元素排泄不仅与饲粮微量元素添加量密切相关[32]，同时也与其生物有效性存在密切

关系[4]。Pierce 等[33]对猪和肉鸡的研究表明，按照 NRC（1994）推荐量的 50%添加有机微量元素，能在保证猪维持正常生产性能的情况下显著降低粪便中微量元素含量；按照 NRC（1994）标准的 25%添加有机微量元素可使肉鸡粪便中铜、锌、铁含量分别降低 75%、50%和 14%。对蛋鸡的研究表明，当饲粮中微量元素添加量为 NRC（1994）推荐量的 25%时，有机微量元素较无机微量元素促进了锰、铁和硒的排泄，而添加量为 NRC（1994）的 75%和 125%时，无机微量元素组蛋鸡锰、铁、铜和锌排泄高于有机微量元素组[12]。本研究结果表明，饲粮添加有机微量元素能够降低蛋鸡铁、铜、锌、锰、钙的排泄，其中添加量为 NRC（1994）推荐量的 60%时，粪便铜、锌、锰含量极显著降低；随着有机微量元素添加量的升高，粪便中微量元素含量也随之增加。这表明，微生物合成的有机微量元素可促进微量元素在蛋鸡体内的消化吸收，适当降低添加量有利于减少微量元素的排泄。

从以上结果可知，有机微量元素能够在降低添加量[相当于 NRC（1994）推荐量的 60%和 80%]情况下，满足蛋鸡血液、肝脏、胰脏、胫骨以及鸡蛋中微量元素沉积的需要，同时达到降低微量元素排泄的效果，比较而言，有机微量元素添加量为 NRC(1994)推荐量的 60%时在降低蛋鸡粪便中铁、铜、锌、锰含量的效果上优于添加量为 NRC(1994)推荐量的 80%时。

与化学合成的有机微量元素相比，对微生物合成的有机微量元素的相关研究还较少，其促进微量元素沉积和降低排泄的作用机制尚不清楚。与结构简单、对动物体消化道应激大的化学合成态微量元素相比，本试验所用有机微量元素为微生物合成态，符合动物消化道营养需求特点，对动物应激小[34-35]。研究表明，微生物摄取微量元素后能够将其转化为蛋白质、氨基酸、有机酸等结合态，也可将微量元素吸附在细胞壁物理空间结构内，从而降低微量元素在消化道内被植酸等抗营养因子结合的几率[36-37]。从本试验对所用的由乳酸菌、酵母菌和枯草芽孢杆菌发酵制备的复合有机微量元素的实测结果可知，其游离态微量元素含量不足 25%，表明大部分为吸附态和结合态，从而确保微量元素的生物有效性，这可能是本试验中有机微量元素在沉积效率和排泄方面优于无机微量元素的主要原因。

4 结　论

① 与无机微量元素相比，有机微量元素一定程度上促进了铁、铜、锌、锰在蛋鸡血液、肝脏、胰脏、

胫骨和鸡蛋中的沉积，并降低了上述微量元素的排泄量。

② 在饲粮中按照 NRC（1994）推荐量的 60%添加有机微量元素能够在保证蛋鸡体内微量元素正常沉积的前提下降低排泄量。

参考文献：

[1] LEESON S,CASTON L.Using minimal supplements of trace minerals as a method of reducing trace mineral content of poultry manure[J].Animal Feed Science and Technology,2008,142(3/4):339–347

[2] 丁文军,王郁文.植酸与微量元素[J].国外医学医学地理分册,2001,22(2):58–60,66.

[3] HE W L,FENG Y,LI X L,et al.Comparison of iron uptake from reduced iron powder and $FeSO_4$ using the Caco-2 cell model:effects of ascorbic acid,phytic acid,and pH[J].Journal of Agrcultural and Food Chemistry,2008,56(8):2637–2642.

[4] 郭小权,胡国良,曹华斌,等.高锌日粮对断奶仔猪血清锌和粪便排泄锌含量的影响[J].江西农业大学学报,2009,31(5):789–792.

[5] SLIKKER W,Jr.,ANDERSEN M E,BOGDANFFY M S,et al.Dose-dependent transitions in mechanisms of toxicity [J].Toxicology and Applied Pharmacology,2004,201(3):203–225.

[6] RANHMAN T,HOSEN I,ISLAM M M,et al.Oxidative stress and human health[J].Advances in Bioscience and Biotechnology,2012,3(7):25130.

[7] CARLSON M S,BOREN C A,WU C,et al.Evaluation of various inclusion rates of organic zinc either as polysaccharide or proteinate complex on the growth performance,plasma and excretion of nursery pigs [J].Journal of Animal Science,2004,82(5):1359–1366.

[8] 刘向伟,刘祥银,李华,等.饲料中微量元素添加剂的发展历程及应用研究现状[J].饲料工业,2013,34(19):28–31.

[9] 韦习会,夏冬,李文艺,等.不同形态锌对断奶仔猪补锌效果的研究[J].养猪,1998(4):6–7.

[10] CAO J,HENRY P R,GUO R A,et al.Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental

organic zinc sources for poultry and ruminants[J].Journal of Animal Science,2000,78(8):2039–2054.

[11] BAILLET F,MAGNIN J P,CHERUY A,et al.Chromium precipitation by the acidophilic bacterium thiobacillus ferrooxidans[J].Biotechnology Letters,1998,20(1):95–99.

[12] 薛颖,董晓芳,佟建明.不同水平的无机及有机复合微量元素对蛋黄及排泄物中微量元素含量的影响[J].动物营养学报,2015,27(11):3366–3380.

[13] 张娟,丁焦忠,李和.原子吸收光谱法测定血清中锌、铜、铁、钙和镁的方法研究[J].河南预防医学杂志,1998,9(5):261–263.

[14] YOKOI K,KIMURA M,ITOKAWA Y.Effect of dietary iron deficiency on mineral levels in tissues of rats[J].Biological Trace Element Research,1990,29:257–265.

[15] ANGEL R.Metabolic disorders:limitations to growth of and mineral deposition into the broiler akeleton after hatch and potential implications for leg problems[J].Journal of Applied Animal Research,2007,16(1):138–149.

[16] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2008:113–123.

[17] 李才淑,楼蔓藤,李增禧,等.血清微量元素含量与疾病相关性数据(一)[J].广东微量元素科学,2012,19(10):35–65.

[18] DEUK C E.Alimentary canal secretion and digestion special digestive functions and absorption[M].4th ed.New York:Springer Verlag,1986:289–302.

[19] 谭会泽,冯定远,沈思军,等.复合蛋氨酸螯合微量元素对经产母猪血清相关生化指标及繁殖性能的影响[J].华南农业大学学报,2005,26(1):98–101.

[20] 周明.饲料学[M].2 版.合肥:安徽科学技术出版社,2010.

[21] 罗绪刚,苏琪,黄俊纯,等.实用饲粮中锰的添加水平对肉用仔鸡组织中其他矿物元素浓度的影响[J].中国动物营养学报,1991,3(1):17–20.

[22] 王淑明,鞠贵春,张志明,等.不同锌源及锌水平对水貂血清生化指标和脏器中微量元素含量的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(9):18–21,26.

[23] SWIATKIEWICZ S,KORELESKI J.The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality[J].Veterinarni Medicina,2008,53(10):555–563.
[24] AO T,PIERCE J L,POWER R,et al.Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks [J].Poultry Science,2009,88(10):2171–2175.
[25] SKIVAN M,SKRIVANOV V,MAROUNEK M.Effect of various copper supplements to feed of laying hens on Cu content in eggs,liver,excreta,soil,and herbage[J].Archives of Environmental Contamination and Toxicology,2006,50(2)280–283.
[26] HENRY P R,AMMERMAN C B,LITTELL R C.Relative bioavailability of mangancse from a manganese-methionine complex and inorganic sources for ruminants[J].Journal of Dairy Science,1992,75(12):3473–3478.
[27] 孙秋娟,呙于明,张天国,等.羟基蛋氨酸螯合铜/锰/锌对产蛋鸡蛋壳品质、酶活及微量元素沉积的影响[J].中国农业大学学报,2011,16(4):127–133.
[28] 蔡娟,卢建,施寿荣,等.酵母硒和亚硒酸钠对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋硒含量的影响[J].动物营养学报,2014,26(12):3793–3798.
[29] MABE I,RAPP C,BAIN M M,et al.Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese,copper,and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens[J].Poultry Science,2003,82(12):1903–1913.
[30] PARK S Y,BIRKHOLD S G,KUBENA L F,et al.Review on the role of dietary zinc in poultry nutrition,immunity,and reproduction [J].Biological Trace Element Research,2004,101(2):147–163.
[31] PAYNE R L,LAVERGNE T K,SOUTHERN L L.Effect of inorganic versus organic selenium on hen production and egg selenium concentration [J].Poultry Science,2005,84(2):232–237.
[32] BURKETT J L,STALDER K J,SCHWAB C R,et al.Growth comparison and fecal mineral excretion of inorganic and organic trace mineral supplementation in swine[R].Animal Industry Report.Ames:Iowa State

University,2005.

[33] PIERCE J L,SHAFER B L,STALDER K J,et al.Nutritional means to lower trace mineral excretion from swine and poultry without compromising performance[J].Poultry Science,2005,84:1–6.

[34] MATTI K.Yeast preparations enriched with trace elements[J].Acta Pharmacologica et Toxicologica,1986,59(7):148–151.

[35] 韩吉婷.微生态硒的制备及遗传毒性的研究[D].硕士学位论文.太原:山西大学,2014:45–55.

[36] ZHOU J L.Zn biosorption by Rhizopus arrhizus and other fungi[J].Applied Microbiology and Biotechnology,1999,51(5):686–693.

[37] 薛冬桦,张恒真,赵小敏.高铁营养酵母发酵培养及营养评价[J].食品科学,2003,24(9):79–82.

Effects of Different Levels of Irganic Trace Elements on Deposition and Excretion of Mineral Elements of Laying Hens

HE Wanling[1] LI Xiaoli[1] LI Wang[1] DING Ke[1] LI Yuanxiao[1] REN Zhendong[2]

(1. *College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang* 471003, *China*; 2. *Henan Egdoo Biological Technology Co., Ltd., Zhengzhou* 450000, *China*)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effects of different levels of organic trace elements (OTE) on deposition and excretion of mineral elements of laying hens. Two hundred and forty 25-week-old Hy-Line brown laying hens were randomly divided into 4 groups with 6 replicates per group and 10 laying layers per replicate. The laying hens in control group were fed a diet added with inorganic trace elements according to the recommendation of NRC (2004), and the laying hens in trial groups 1, 2 and 3 were fed the diet added with an inclusion level of 60%, 80% and 100% of organic trace elements according to the recommendation of NRC (2004), respectively. The experimental period was 49 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group, the blood

Author, HE Wanling, associate professor, E-mail: hwling921@126.com (责任编辑　菅景颖)

copper and zinc contents in trial group 1 and the blood copper, zinc, manganese and pancreatic zinc contents in trial groups 2 and 3 were significantly increased (P<0.05). 2) Compared with the control group, the egg zinc, manganese and iron contents in each trial group were significantly increased (P<0.05). 3) Compared with the control group, the fecal copper content in trial group 1 and 2 were significantly decreased (P<0.01), and the fecal zinc and manganese contents of trial group 1 were significantly decreased (P<0.01), the fecal manganese content in trial group 2 and the fecal copper content in trial group 3 were significantly decreased (P<0.05). However, the contents of calcium and phosphorus in blood, liver, pancreas, tibia and egg of laying hens in trial groups 1, 2 and 3 showed no significant difference when compared with the control group (P>0.05). It is concluded that OTE can promote the deposition of iron, copper, zinc and manganese both in layer hens and eggs, and reduce the excretion of corresponding elements, and the supplemental level of 60% according to the recommendation of NRC (2004) is better for laying hens.

Key words: trace elements; laying hens; deposition; excretion